

О ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУХОПРОВОДА КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Б. М. ТИТОВ, А. Н. КАБАКОВ

Для предупреждения нагарообразования и взрыва компрессорной установки температуру сжатого воздуха рекомендуется ограничивать 140°C [1]. По мере движения воздуха по трубопроводу происходит его охлаждение с изменением температуры по логарифмическому закону [2]

$$\ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0} = \frac{\kappa_{\text{мр}} \cdot l}{c_p \cdot G}, \quad (1)$$

где T_1 — температура в начале трубопровода, °K;

T_2 — температура в конце трубопровода, °K;

T_0 — температура окружающей среды, °K;

$\kappa_{\text{мр}}$ — коэффициент теплопередачи от сжатого воздуха в окружающую среду, ккал/час м °K;

l — длина трубопровода, м;

c_p — теплоемкость сжатого воздуха, ккал/кг°K;

G — расход воздуха, кг/час.

Воздухопроводную сеть по температурному режиму можно разделить на два участка. На первом участке сжатый воздух охлаждается до температуры окружающей среды, на втором — происходит изотермическое течение воздуха.

Интерес представляет первый участок трубопровода. Для конкретных условий его длину можно определить по формуле (1).

$$l = \frac{c_p}{\kappa_{\text{мр}}} G \ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}. \quad (2)$$

Работоспособность и весовой расход сжатого воздуха потребителем изменяется пропорционально температуре [3]

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{L_2}{L_1} = \frac{T_2}{T_1}, \quad (3)$$

где G_1, G_2 — расход сжатого воздуха при T_1 и T_2 , кг/час;

L_1, L_2 — работоспособность воздуха соответственно при T_1 и T_2 , кГМ/кг.

Таким образом, для совершения одной и той же работы горячего воздуха требуется меньше на величину

$$\Delta G = G \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right). \quad (4)$$

Для сохранения температуры сжатого воздуха может применяться теплоизоляция воздухопровода. Потери тепла в трубопроводе, выраженные через параметры воздуха,

$$\Delta Q = c_p G (T_1 - T_2). \quad (5)$$

Те же потери тепла, выраженные через параметры трубопровода,

$$\Delta Q = \kappa'_{\text{мп}} \cdot l' \Delta T_{\text{ср}}, \quad (6)$$

где $\kappa'_{\text{мп}}$ — коэффициент теплопередачи от компрессорного воздуха в окружающую среду через трубопровод с изоляционным покрытием;

l' — длина изолированного трубопровода, м;

$\Delta T_{\text{ср}}$ — средняя логарифмическая разность температур между компрессорным воздухом и окружающей средой.

$$\Delta T_{\text{ср}} = \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_0}}. \quad (7)$$

Из уравнений (5), (6), (7), имеем

$$c_p G (T_1 - T_2) = \kappa'_{\text{мп}} l' \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_0}}. \quad (8)$$

Отсюда

$$l' = \frac{c_p G \ln \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_0}}{\kappa'_{\text{мп}}}. \quad (9)$$

Из формул (2) и (9) видно, что при прочих равных величинах длина первого участка трубопровода зависит от коэффициентов теплопередачи

$$l' = l \frac{\kappa_{\text{мп}}}{\kappa'_{\text{мп}}}. \quad (10)$$

Коэффициенты теплопередачи $\kappa_{\text{мп}}$ и $\kappa'_{\text{мп}}$ определяются по известным формулам [4, стр. 106].

Затраты на изоляцию воздухопровода

$$\begin{aligned} S_{\text{из}} &= \frac{100 + \phi + \varphi}{100} \cdot \pi (d_2 + \delta_{\text{из}}) \cdot \delta_{\text{из}} a_m l' + \pi (d_2 + 2\delta_{\text{из}}) a_n l' = \\ &= \pi l' [a_m \delta_{\text{из}}^2 (a_m d_2 + 2a_n) + a_n d_2], \end{aligned} \quad (11)$$

где ϕ — стоимость наложения изоляции, %; (11)

φ — стоимость ремонта изоляции за срок службы, %;

$\delta_{\text{из}}$ — толщина изоляции, м;

a_m — стоимость изоляционного материала, руб/м³;

a_n — стоимость покровного слоя, руб/м³;

Годовое снижение эксплуатационных расходов при использовании горячего воздуха

$$\Delta \mathcal{E} = V n_{\text{год}} a_{\text{в}} f \left[\left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) + \left(1 - \sqrt{\frac{T_0 R_0}{T_2 R_2}} \right) \right], \quad (12)$$

где V — производительность компрессора м³/час;

$n_{\text{год}}$ — число часов компрессорной установки в год;
 $a_{\text{в}}$ — стоимость 1 м³ сжатого воздуха, руб/м³;
 R_0, R_2 — газовые постоянные при температуре T_0 и T_2 ;
 f — коэффициент, учитывающий утечки в воздухопроводной сети.

Срок окупаемости изоляции трубопровода

$$C_{\text{из}} = \frac{S_{\text{из}}}{\Delta \Theta} = \frac{100 + \psi + \varphi}{100} \cdot \frac{\pi c_p \gamma V [a_m \delta_{\text{из}}^2 + \delta_{\text{из}} (a_m d_2 + 2a_{\text{п}}) a_{\text{п}} \cdot d_2]}{\kappa_{\text{тр}} \cdot V \cdot \Pi_{\text{год}} \cdot a} \times \ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0} \times \frac{1}{f \left[\left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) + \left(1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_2} \cdot \frac{R_0}{R_2}} \right) \right]} \quad (13)$$

Обозначив через

$$A = \frac{100 + \psi + \varphi}{100} \cdot \frac{\pi c_p \gamma [a_m \delta_{\text{из}}^2 + \delta_{\text{из}} (a_m d_2 + 2a_{\text{п}}) a_{\text{п}} d_2]}{\kappa_{\text{тр}} \cdot n_{\text{год}} \cdot a_{\text{в}}}, \quad (14)$$

получим

$$C_{\text{из}} = \frac{A \cdot \ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}}{f \left[\left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) + \left(1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_2} \cdot \frac{R_0}{R_2}} \right) \right]}. \quad (15)$$

В формуле (14) наивыгоднейшая толщина $\delta_{\text{из}}$ определяется по методу окупаемости последних слоев изоляции [5, стр. 123].

Пример. Рассчитать целесообразность изоляции шахтной воздухопроводной сети (рис. 1). При расчете принять следующие данные:

число часов работы компрессорной установки в год $n_{\text{год}} = 7000$ час;

температура на выходе из компрессора $T_1 = 413^\circ \text{K}$;

температура шахтной среды $T_0 = 298^\circ \text{K}$;

стоимость 1 м³ изоляционного слоя из оштукатуренных минераловатных скорлуп — 53,34 руб;

коэффициент теплопроводности изоляционного слоя,

$$\lambda = 0,052 + 0,00016 t_{\text{ср}}, \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{г} \cdot \text{град}}$$

стоимость окраски изоляции — 0,28 руб/м²;

утечки сжатого воздуха из пневматической сети — 20 %;

нормативный срок службы изоляции — 8 лет.

Стоимость наложения и ремонта теплоизоляции принимаем соответственно 15 и 10 % от затрат на изоляцию воздухопровода.

Расчеты показывают (табл. 1), что для шахтных условий при большой протяженности и разветвленности пневматической сети, наличии

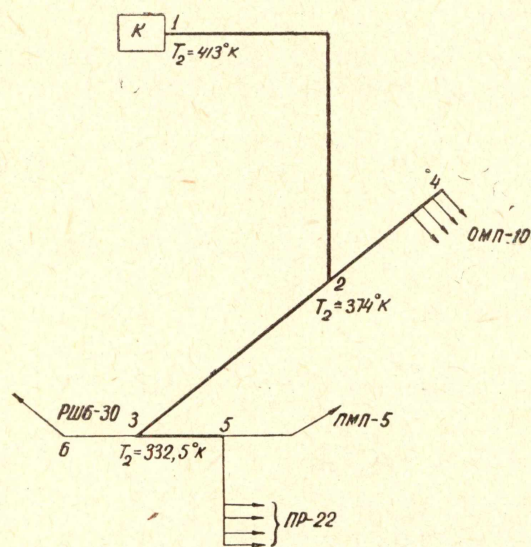


Рис. 1. Расчетная схема воздухопроводной сети

Таблица 1

Расчет эффективности тепловой изоляции воздухопровода (к примеру 1)

Участок сети	Расход сжатого воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$	Длина воздухопровода, м		Диаметр трубопровода, м		Толщина изоляции, м		Коэффициент A	Экономически выгодная		Заключение о целесообразности наложения изоляции
		действительная	расчетная	расчетный	принятый	расчетная	принятая		температура воздуха не ниже $^{\circ}\text{K}$	длина воздухопровода, не выше, м	
1—2	51,4	500	575	0,160	0,194	0,0697	0,07	0,395	394	2020	целесообразно
2—3	46,2	1000	1150	0,151	0,194	0,0697	0,07	0,395	325		нецелесообразно
2—4	5,2	500	575	0,07	0,089	0,049	0,05	0,542	325	246	— " —
3—5	16,2	100	115	0,125	0,159	—	—	—	325	25	— " —
3—6	30	0	0	—	0,194	0,0697	0,07	0,395	325	—	целесообразно

большого количества передвижных пневмомеханизмов небольшой мощности (перфораторы, отбойные молотки и др.), изоляция воздухопроводов сжатого воздуха оказывается в большинстве случаев нецелесообразной. Теплоизоляция шахтных воздухопроводов может быть целесообразной при питании сжатым воздухом пневмомеханизмов большой мощности, подсоединенных к пневматической сети вблизи от компрессорной установки.

В заводских условиях при сравнительно небольшой длине пневматической сети и стационарном оборудовании, изоляция воздухопроводов является экономически выгодной. Целесообразность изоляции воздухопроводов сжатого воздуха для конкретных условий предлагается определять по методике, изложенной в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Гордеев, В. Ф. Котов, А. И. Сербиков, Я. К. Прошин. О взрывах в воздушных поршневых компрессорах и магистралях, Промышленная энергетика, № 12, 1964.
 2. М. А. Матвеев. Падение температуры сжатого воздуха в рудничных воздухопроводах. Горный журнал, № 4, 1951.
 3. В. И. Шишкин. Снижение расхода сжатого воздуха потребителями, Промышленная энергетика, № 4, 1964.
 4. А. С. Ильичев. Рудничные пневматические установки, т. 1, Углетехиздат, 1953.
 5. С. В. Хижняков. Практические расчеты тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов. Изд-во Энергия, М.-Л., 1964.
-